E/CONF.39/A/207
30 Oct.1962
ORIGINAL : ESPAÑOL

CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS
SOBRE LA APLICACION DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA
EN BENEFICIO DE LAS REGIONES MENOS DESARROLLADAS

Punto del programa : A. 3. 3. 1

México

PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN MEXICO POR MEDIO DE LOS METODOS DE LA GEOFISICA APLICADA

Por el Ing. Alfonso de la O CARRENO,
Géologo Consultor de la Secretaria
de Recursos Hidraulicos, México

Las monografías presentadas en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología en Beneficio de las Regiones Menos Desarrolladas constituyen documentos de trabajo de dicha Conferencia. Se publican tal como han sido presentadadas por los colaboradores y los puntos de vista expresados en ellas corresponden a los colaboradores. (Veánse notas al dorso.)

NOTAS

1. Las monografías seleccionadas para las Sesiones Generales serán distribuidas en la Conferencia en los siguientes idiomas oficiales de las Naciones Unidas: español, francés, inglés y ruso.

2. Las monografías seleccionadas para las Sesiones Especiales serán distribuidas en la Conferencia únicamente en uno de los idiomas oficiales antes indicados.

3. Los resúmenes de las monografías presentadas por los colaboradores serán distribuidos en la Conferencia en los siguientes idiomas oficiales de las Naciones Unidas: español, francés, inglés y ruso.

4. No se procederá a la distribución general de las monografías y resúmenes con antelación a la Conferencia. Unicamente serán publicadas en cantidades limitadas con antelación a la Conferencia para uso exclusivo de las delegaciones de los gobiernos participantes y de otros participantes autorizados. La publicación con posterioridad a la Conferencia y la distribución general de las actas y debates de la Conferencia seguirán las prácticas de las Naciones Unidas establecidas por la Junta de Publicaciones de las Naciones Unidas.

-PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN MEXICO POR MEDIO DE LOS METODOS DE LA GEOFISICA APLICADA.

Por el Ing. Alfonso de la O Carreño
Geólogo Consultor de la Secretaría
de Recursos Hidráulicos-México.

I - TIPOS DE PROBLEMAS DE GEOHIDROLOGIA QUE USUALMENTE SE PRESENTAN EN MEXICO.

a).- En México la investigación y aprovechamiento de aguas subterráneas se hace de preferencia para usos domésticos y públicos, tanto en pequeños poblados como en las grandes ciudades y para abrevadero y usos industriales. Se utilizan en riego -- cuando no se disponde de aguas superficiales o éstas no son suficientes. Los caudales requeridos van desde unos cuantos litros por segundo hasta varios metros cúbicos por segundo, con la calidad adecuada según las necesidades, y dentro de las normas establecidas. Por lo tanto en igualdad de condiciones geohidrológicas, el problema para satisfacer determinado uso se simplifica o se complica de acuerdo con la magnitud del caudal necesario.

b).- Debido a las peculiares características geográficas de México por su complicada fisiografía con tierras bajas, de mediana altitud, altiplanos y regiones montañosas las condiciones climatológicas también lo son. De los 1.96 millones de km2 de su extensión, solo el 36 % son tierras llanas. El 43 % es árida o muy árida (lluvia menor de 500 mm. al año) y solo el 7 % es húmedo o muy húmedo con lluvia superior a los 1500 mm. La lluvia está irregularmente distribuída tanto en el territorio como en el tiempo y la lámina de precipitación va desde casi nula en algunas regiones del Norte, hasta más de 5 m en algunas localidades del Sureste. Esto trae como consecuencia que el índice forestal también sea muy variable. Por otra parte la distribución de las diferentes formaciones de rocas es complicada y como la permeabilidad tanto superficial como interna depende de sus características litológicas y de su edad, resulta que también las zonas de alta o baja permeabilidad están distribuídas sin orden (Ver figura I). El suscrito ha estimado que de la precipitación media anual -- (1 377 879 millones de m^3) que recibe México, un 19.7 % se infiltra (270 695 millones de m^3). Es obvio que no todo ese volumen puede ser aprovechado por razones tanto geohidrológicas, como climáticas. Debido a las variadas condiciones físicas del territorio nacional arriba esbozadas, los problemas relacionados con las aguas subterráneas son también diversos, pero se pueden concretar en los siguientes:

c).- A veces se presenta la necesidad de localizar pequeños caudales para abastecer rancherías o para abrevadero, en formaciones prácticamente impermeables, (acuícierres), tales como masas de rocas intrusivas de granitos, de granodioritas u otras

en formaciones de orto-rocas o para-rocas metamórficas o de grandes masas de lavas - neovolcánicas como de andesitas, que son estériles desde el punto de vista geohidrológico. Se estudia en el terreno si presentan fisuras o juntas o si tienen una gruesa capa de regolita principalmente en depresiones de cierta extensión, en ocasiones con una cubierta de suelo bien desarrollado. Si la localidad por abastecer se encuentra en zonas de baja precipitación, las posibilidades de extraer aunque sea un pequeño caudal son nulas. En zonas de clima tropical, con altas precipitaciones y calurosas, la capa superficial intemperizada, puede presentar un cierto grado de permeabilidad y una zona de saturación que proporcione pequeños caudales. Se escogen depresiones extensas y que tengan una cuenca de alimentación superficial de importancia. El estudio geológico puede completarse mediante un estudio geofísico para determinar las partes de mayor espesor de la capa intemperizada donde se localicen las norias o pozos. Estas condiciones se presentan en la costa del Pacífico tanto al Noroeste como al Sur del Territorio Mexicano, en las cubiertas de arenas arkósicas con arcilla - residual, en las provincias de rocas graníticas. (Ver la figura I).

d).- En nuestro País existen grandes zonas de formaciones sedimentarias marinas, en las que abundan las calizas con morfología cársica muy avanzada, que corresponden al gran Geosinclinal Mexicano (Ver figuras I y II), y a otras cuencas marinas menores, de tectónica complicada y relieves pronunciados así como a la quieta y casi llana Plataforma Yucateca. Las calizas presentan una alta permeabilidad en grande y en su seno circulan importantes caudales de aguas más o menos concentradas que dan origen a corrientes subterráneas y a manantiales de fuertes gastos cuando afloran. En - Estas formaciones la localización del agua es difícil debido a lo laberíntico de los conductos internos. El estudio geológico que en cada región se hace es básicamente estructural, pero en ocasiones localmente puede emplearse como auxiliar la geofísica. Ejemplo notable de alumbramiento de aguas en calizas, es el hecho para completar el abastecimiento en la Ciudad de Monterrey, en cuya área y en la cercana cuenca de Mina se perforaron varios pozos con unos mil metros de profundidad buscando en la serie sedimentaria las calizas cavernosas del Cretácico Medio, que proporcionan aguas artesianas. En la Península de Yucatán, de naturaleza cársica, se están estableciendo pequeños sistemas de riego a base de pozos, de unas cuantas decenas de metros de profundidad que llegan a los acuíferos freáticos.

e).- En otros tipos de formaciones de rocas sedimentarias marinas del Cenozoico, tales como series de areniscas, lutitas, arcillas y arenas alternadas, como en la -- Cuenca sedimentaria marina de Veracruz, (Ver figura II), el problema es estructural sin la complicación cársica, aunque a veces con la que presentan durante la perforación, las arenas incoherentes finas.

f).- En el Altiplano Mexicano, existen grandes y pequeñas extensiones más o menos planas que forman parte de cuencas abiertas o cerradas sea de origen tectónico o formadas por grandes barreras de rocas ígneas principalmente Cenozoicas y que fueron rellenadas progresivamente por clásticos de diferentes granulometrías, alternando -- los finos con los gruesos y con formaciones lacustres, dando origen a una alternancia de arcillas o margas con areniscas, tobas y conglomerados, en ocasiones con intercalaciones de tripolita. Estas series llegan a tener varios centenares de metros

de potencia. Hacia el Norte del País predom nan los clásticos que provienen de las - formaciones sedimentarias marinas; en cambio en el Centro y Sur, son más abundantes los de origen volcánico principalmente de piroclásticos finos y medios a menudo mezclados con légamos (Loess). A veces en la serie sedimentaria continental, están intercalados manto-estratos de lava o simplemente existen coladas de lava que quedaron sepultadas al progresar el relleno. Estos sedimentos complejos casi siempre presentan buenas condiciones de porosidad y de permeabilidad y contienen una o varias zonas de saturación sucesivas, muchas veces con artesianismo. En las zonas de escasa o casi nula precipitación como en los Bolsones del Norte, la alimentación de esas cuencas es pobre y la acumulación de las aguas ha sido lenta. Ahí las extracciones - tenderán a disminuír progresivamente las reservas por haber poca o ninguna renovación. En las de precipitación ya apreciable cercana a un metro por año, la conservación de esas reservas es más efectiva como en el caso de la Cuenca de México y la de Guadalajara.

g).- Un caso especial de estas cuencas es el de las rellenas con travertinos como las del Salado y Tehuacán en el estado de Puebla. Las aguas circulan a través de ellos a varios niveles y son captadas por medio de galerías y tajos.

h).- La búsqueda y afloramiento de las aguas en lavas tan abundantes en México (Ver figura I), tales como riolitas es precaria, pues su existencia está regida por las fracturas y juntas de las rocas. En cambio los basaltos tan abundantes en la franja central del País, son lavas que por su alta porosidad primaria y permeabilidad, reciben y transmiten las aguas a través de su masa. La concentración y flujo - se hace hacia la base de las coladas cuando descansan en otra formación relativamente impermeable como sucede en el estado de Querétaro, o en los bordes meridionales - de la Cuenca de México y en el flanco meridional del macizo del Ajusco hacia Cuernavaca. En estos casos es necesario localizar los valles o depresiones que sepultó la materia eyecta, lo que puede hacerse económicamente solo con geofísica.

i).- Existen numerosos arroyos y ríos principalmente en el Norte, que descienden de sierras que reciben buena aportación de lluvias y cuyo escurrimiento superficial es rápido, pero que bajo sus cauces amplios y con grandes acarreos de arena y - gravas, escurren caudales de aguas subálveas que pueden ser captadas por galerías o pozos de gran diámetro (norias chinas). En algunas boquillas amplias, también se investigan las dimensiones del canal sepultado y las condiciones de saturación de los aluviones con las aguas subálveas, para la obtención de datos necesarios en el proyecto de la cortina. En estos casos la geofísica es un gran auxiliar para determinar las secciones y dimensiones del cauce conductor. Ejemplo de este grupo es el de las galerías sobre el arroyo de Santa Catarina que en parte abastece a Monterrey.

j).- Por último una modalidad muy importante en el yacimiento y captación de las aguas subterráneas en México es el de las planicies costeras mas o menos amplias, con depósitos de aluviones finos, medios y gruesos, a veces con intercalaciones de - caliche, de permeabilidad generalizada y con zonas de saturación de aguas continentales dulces que muy cerca de la costa y cuando en el subsuelo no existen barreras subterráneas aislantes, flotan sobre las aguas saladas de acuerdo con la teoría de - - Ghyben-Herzberg. La explotación de estas aguas en algunas zonas costeras ha sido in

tensiva y la protección de los acuíferos es no solo con el fin de no agotarlos, sino el de evitar bombeos peligrosos que provoquen la contaminación con las aguas saladas - y la invasión de éstas. Este control se hace después del estudio geológico con ayuda de la geofísica y de pozos de observación convenientemente distribuídos en el área de explotación, para controlar las extracciones y evitar abatimientos peligrosos de los niveles de las aguas subterráneas sobre todo en las franjas más cercanas a la costa. Ejemplo de estas explotaciones en grande las tenemos en la Costa de Hermosillo, Son. y en la Planicie de Santo Domingo, Península de la Baja California.

II - METODOS GEOFISICOS UTILIZADOS EN MEXICO.- EJEMPLOS DE PROBLEMAS ESTUDIADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

k).- En México se han venido utilizando con éxito, en investigaciones geohidrológicas, los métodos: gravimétrico, sísmico de refracción y los eléctricos. Se mencionan en orden creciente de su importancia, tomando como base el número de problemas - estudiados con cada uno de ellos. En perforaciones además de los registros eléctricos se utilizan en ciertos problemas los de rayos gamma. Parece innecesario indicar - que los levantamientos geofísicos se planean después de los reconocimientos geológicos.

l).- El método gravimétrico se ha aplicado y se piensa seguir aplicando, en las investigaciones preliminares del subsuelo en cuencas extensas de escaso relieve superficial interior mencionadas en los párrafos f), g). El Levantamiento se hace con gravímetro, determinando las diferencias de la gravedad en una red de estaciones distribuídas convenientemente en la región por investigar, según el grado de detalle -- requerido. Se toma una estación base y parelelo base, haciéndose todas las "reducciones" usuales, incluso la del "efecto regional", para obtenerse finalmente las cartas de isanómalas de Bouguer. La interpretación se hace a base de la "gravedad residual" de la "segunda derivada". Los "altos" y "bajos" gravimétricos y el movimiento de las isanómalas, permite tener una información preliminar muy útil sobre la probable configuración de la roca de fondo o roca basal que forma la cubeta de la cuenca. Se localizan así las depresiones, altos o barreras, puertos etc., para luego, donde sea - necesario, completar las investigaciones en lugares específicos con los métodos sísmico y eléctricos, obteniéndose de esta manera detalles precisos de la configuración subterránea y de la estratigrafía del relleno sedimentario, así como la localización de accidentes tectónicos de importancia como fallas. Ejemplos de levantamientos gravimétricos son los de la parte más baja y plana de la cuenca cerrada de México (1930 km2), que en total tiene una área de 8114 km2. En esta cuenca se asienta la Ciudad de México y abarca el Distrito Federal y parte de los estados de México, Hidalgo y - Tlaxcala. En la cuenca cerrada de Oriental que abarca parte de los estados de -- Puebla Tlaxcala y Veracruz con extensión de 4861 km2 se cubrieron con gravimetría -- 500 km2. En ambos casos se obtuvo muy buena información para una planeación de la explotación de los recursos geohidrológicos.

m).- El método sísmico de refracción, con la técnica acostumbrada y despliegue de puntos de tiro y seismómetros a distancias adecuadas a las profundidades que se desea alcanzar, se han aplicado a problemas mencionados en los párrafos f), g), i).

Ejemplos correspondientes al primer grupo son el de la Cuenca de Guadalajara, de 570 -- km2 de los que fueron cubiertos 300 km2. La topografía de la roca sepultada es complicada, el estudio se completó con un conjunto de sondeos geoeléctricos. Se localizaron las depresiones principales dándose perforaciones de exploración, muchas de las cuales se convirtieron en pozos de explotación para aumentar el abastecimiento de la Ciudad. Otro ejemplo es el de la pequeña cuenca cerrada de Cadereyta, en el Estado de Querétaro, -- unos 80 km2 donde habían fracasado perforaciones en busca del agua subterránea para el abastecimiento de la población, pues tocaban la roca basal a poca profundidad en la mayor parte de la cuenca. Con el estudio sísmico complementado con el eléctrico, se determinó la única depresión existente a donde fluyen las aguas subterráneas, descubriéndose que tiene un vertedor por donde se fuga el agua a otra cuenca, a 170 m de profundidad - que es la del nivel hidrostático. Ejemplo del grupo i), es el estudio del cañón de la - Huasteca, en el arroyo de Santa Catarina, aguas arriba de Monterrey estado de Nuevo -- León, que sirvió de base para la construcción de una galería filtrante que en parte abastece la Ciudad. Otro ejemplo es el de la amplia boquilla de Pujal, sobre el Río Tampaón estado de San Luis Potosí, donde se construirá una de las presas principales de la cuenca del Río Pánuco. Aquí la sismología sirvió para configurar la roca sepultada del cauce para una mejor localización del eje de la cortina y proporcionó información general sobre las condiciones de saturación del potente relleno de aluviones que es en algunas partes de más de 30 m.

n).- Los métodos eléctricos son los que han tenido una amplia aplicación en problemas geohidrológicos de pequeña o de grande importancia, debido a sus posibilidades y su economía, aplicándose el método clásico de Resistividad y el de Relaciones de Caídas de Potencial que se basan en las condiciones de los campos eléctricos "estables" o "casi estables". Se utiliza de preferencia corriente alterna de baja frecuencia o sea entre 25 y 50 ciclos por segundo, tanto para evitar los fenómenos de polarización, cuanto para - poder aumentar la penetración de la energía en el subsuelo. Las investigaciones se hacen con sondeos verticales aislados o en grupos y a veces con secciones transversales. En realidad el de Resistividad por poco resolutivo, ha quedado en desuso en sondeos, -- aplicándose más bien la Segunda y Tercera variantes de Relaciones de Caída de Potencial habiendo quedado en desuso la primera, que aunque proporciona tanto la curva de "resistividad aparente" como la de "relaciones", no permite gran penetración debido a su técnica en la disposición de los electrodos. Se aplica mucho la segunda por su técnica -- sencilla, con ella se puede penetrar mucho y detallar el sondeo todo lo que se desée. - no obstante que solo se obtiene la curva de "Relaciones de Caída de Potencial." La Tercera variante, desarrollada por el suscrito, proporciona ambas curvas, con ella también - se puede penetrar mucho y proporciona muy buena información en la primera mitad del sondeo, por el detalle con que se lleva; en cambio a la profundidad la información que proporciona es menos detallada debido a los incrementos crecientes en la penetración. Se cuentan por centenares las localidades estudiadas con los métodos eléctricos, tanto en puntos específicos donde a veces un solo sondeo puede resolver una duda, como en extensiones considerables que requieran conjuntos de sondeos a veces en combinación con la - sismología, como ya se indicó en los párrafos l), y m). Puede decirse que casi no ha --

habido problema geohidrológico en México en el que no se hayan aplicado los métodos eléctricos, contándose por millares el número de sondeos hechos. Sería por lo tanto prolijo enumerar los problemas estudiados. Solo en forma general nos referiremos - a los grupos: c) en formaciones prácticamente impermeables los sondeos han ayudado a determinar la profundidad de la zona intemperizada y el nivel de saturación si lo hay. d).- en formaciones cársicas, en ciertos casos, se han podido localizar cavidades y conductos de disolución y hasta fracturas rellenas de arcilla o calcita, con secciones transversales a profundidad constante que luego se incrementa; a veces -- con estaciones a solo 2 m de separación. f).- En las cuencas sedimentarias continentales la ayuda de este método ha sido muy efectiva, tanto aplicándolo solo o en combinación con el sísmico o gravimétrico en toda una cuenca o en una parte de ella -- h).- Muchas veces la búsqueda de las aguas subterráneas no se ha hecho propiamente en el seno de la masa lávica, sino en la formación subyacente o intercalada entre - dos corrientes de lava. En este caso solo con el método eléctrico se han podido determinar los contactos entre las formaciones y las condiciones de saturación de --- ellas. j).- En las planicies costeras, tanto los sondeos como las secciones ayudan a determinar los contactos de aguas dulces y saladas cerca de la línea costera. Por último agregaremos que se cuentan por millares los registros eléctricos en las perforaciones, tan útiles para determinar contactos entre formaciones acuíferas de -- aguas dulces o saladas y acuicierres, para acabar de determinar la probable eficiencia del pozo y el proyecto de su terminación en el aspecto constructivo.

BREVE BIBLIOGRAFIA DE CARACTER GENERAL.

De la O Carreño A., Las Provincias Geohidrológicas de México, Tomos I y II, Boletín Núm. 56, Instituto de Geología, U.N.A.M.- México, D.F. (1951-1954).

De la O Carreño A., Gravimetría, Revista "Irrigación en México", (1944)

Olhovich, V.A., Curso de Sismología Aplicada, Editorial Reverté, S.A. México - D.F., (1947).

Alvarez, Jr. M., Unidades Tectónicas de la República Mexicana, Boletín de la - Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XIV. México, D.F., (1949).

De la O Carreño, A., Geofísica Eléctrica, Revista "Ingeniería Hidráulica en México" D.F., (1947).

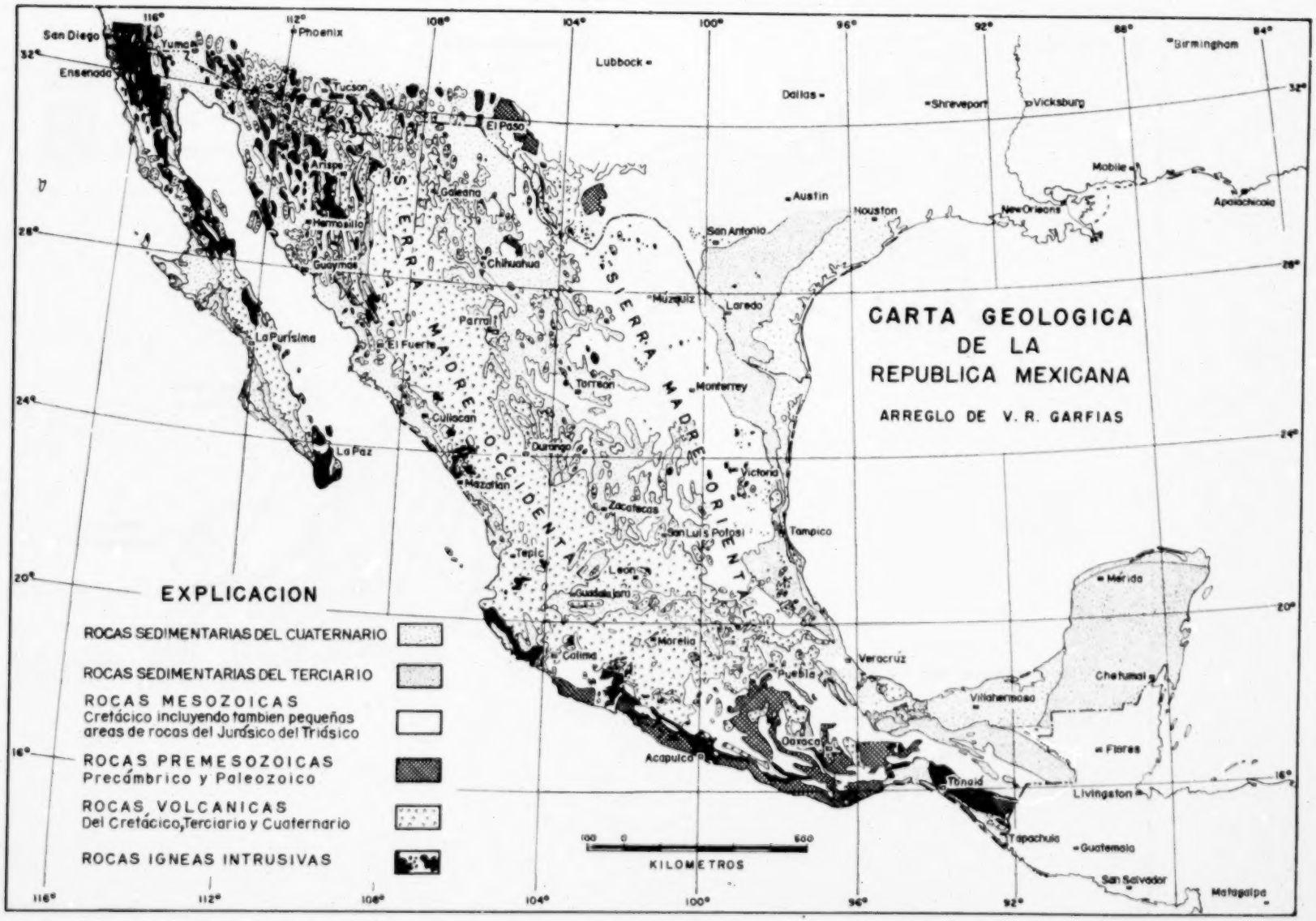
CARTA GEOLOGICA
DE LA
REPUBLICA MEXICANA
ARREGLO DE V. R. GARFIAS
EXPLICACION
ROCAS SEDIMENTARIAS DEL CUATERNARIO
ROCAS SEDIMENTARIAS DEL TERCIARIO
ROCAS MESOZOICAS
Cretácico incluyendo tambien pequeñas areas de rocas del Jurásico del Triásico
ROCAS PREMESOZOICAS
Precámbrico y Paleozoico
ROCAS VOLCANICAS
Del Cretácico, Terciario y Cuaternario
ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS
KILOMETROS
SIERRA MADRE OCCIDENTAL
SIERRA MADRE ORIENTAL
San Diego
Yuma
Phoenix
Ensenada
Tucson
El Paso
Lubbock
Dallas
Shreveport
Vicksburg
Birmingham
Mobile
Apalachicola
Austin
Houston
New Orleans
San Antonio
Arispe
Galeana
Hermosillo
Guaymas
Chihuahua
Muzquiz
Laredo
Parral
La Purisima
El Fuerte
Torreon
Monterrey
Culiacan
La Paz
Durango
Mazatlan
Victoria
Zacatecas
San Luis Potosi
Tampico
Tepic
Leon
Guadalajara
Merida
Colima
Morelia
Veracruz
Puebla
Villahermosa
Chetumal
Oaxaca
Acapulco
Tonala
Flores
Livingston
Tapachula
Guatemala
San Salvador
Metagalpa
116°
112°
108°
104°
100°
96°
92°
88°
84°
32°
28°
24°
20°
16°

FIGURA I

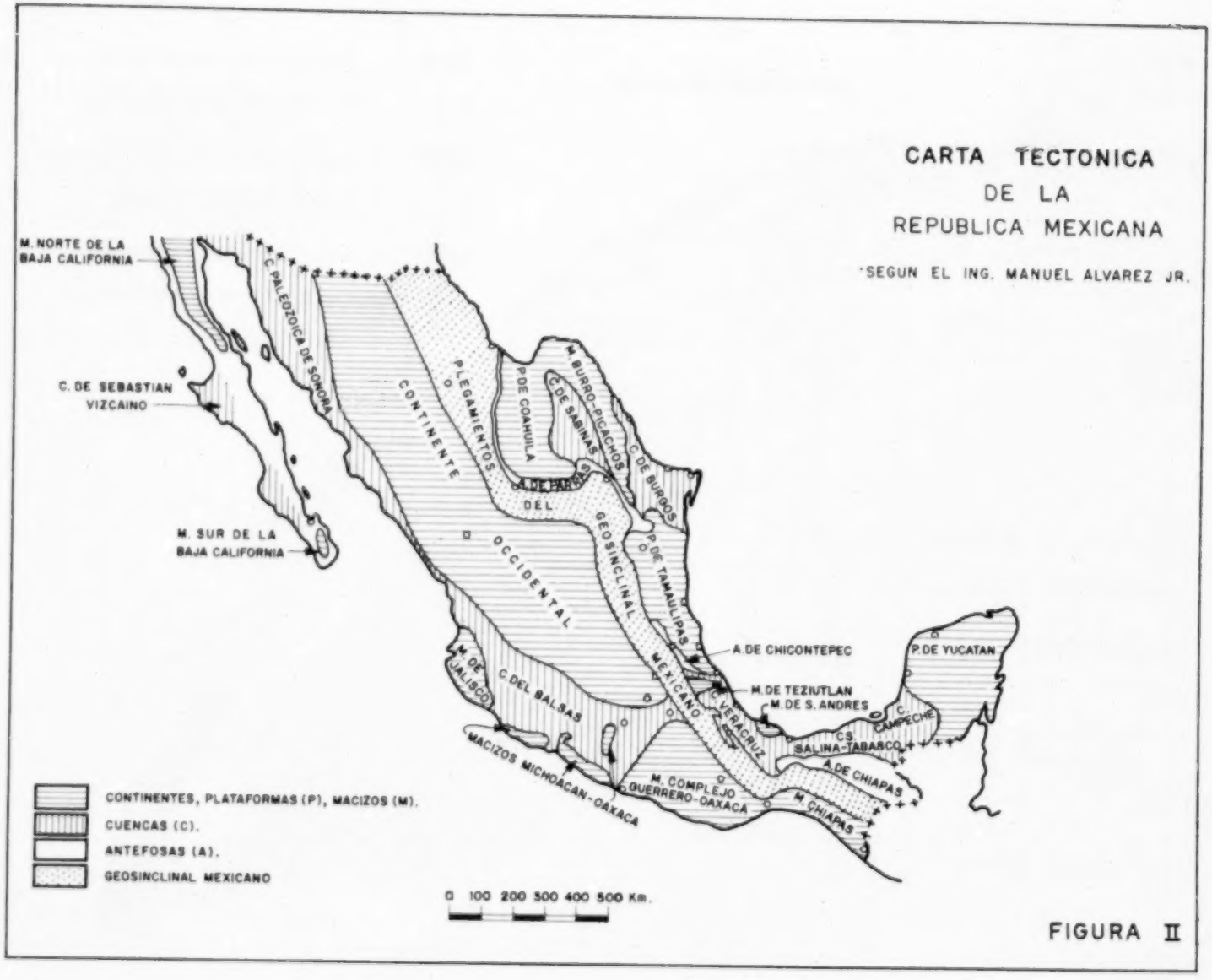
CARTA TECTONICA
DE LA
REPUBLICA MEXICANA
*SEGUN EL ING. MANUEL ALVAREZ JR.
M. NORTE DE LA BAJA CALIFORNIA
C. DE SEBASTIAN VIZCAINO
M. SUR DE LA BAJA CALIFORNIA
C. PALEOZOICA DE SONORA
CONTINENTE
PLEGAMIENTOS
P. DE COAHUILA
M. BURRO-PICACHOS
C. DE SABINAS
A. DE PARRAS
C. DE BURGOS
P. DE TAMAULIPAS
GEOSINCLINAL MEXICANO
OCCIDENTAL
A. DE CHICONTEPEC
P. DE YUCATAN
M. DE TEZIUTLAN
M. DE S. ANDRES
C. CAMPECHE
C. VERACRUZ
C.S. SALINA-TABASCO
A. DE CHIAPAS
M. DE JALISCO
C. DEL BALSAS
MACIZOS MICHOACAN-OAXACA
M. COMPLEJO GUERRERO-OAXACA
M. CHIAPAS
CONTINENTES, PLATAFORMAS (P), MACIZOS (M).
CUENCAS (C).
ANTEFOSAS (A).
GEOSINCLINAL MEXICANO
0 100 200 300 400 500 Km.

FIGURA II

1238 S - Nov. 1962 - 600